

# Соединители SMA с предельной частотой до 34 ГГц. Эволюция продолжается

Кива Джурицкий (kbd.istok@mail.ru)

Рассмотрены основные направления эволюции соединителей SMA: расширение диапазона рабочих частот и повышение надёжности контакта между вилкой и розеткой. Показаны особенности коаксиальной линии, конструктивные и электрические параметры стандартных соединителей SMA (предельная частота 18 ГГц), соединителей Super SMA (предельная частота 27 ГГц) и оптимизированного Super SMA (предельная частота 32...34 ГГц).

## Соединители SMA

Соединители SMA (SubMiniature A) были разработаны в США в 1958 году. С 1968 года их выпускают по стандарту MIL-C-39012 для применения в военной аппаратуре. В этом соединителе с волновым сопротивлением 50 Ом применена коаксиальная линия размерами 4,15/1,27 мм, заполненная фторопластом, и резьбовое соединение (американская дюймовая резьба 0,250-36 UNS) вилки и розетки (см. рис. 1) [1].

Соединители SMA миниатюрны, имеют достаточно высокий уровень параметров, технологичны в изготовлении. В связи с этим их широко применяют в радиоэлектронной аппаратуре для военной, аэрокосмической, телекоммуникационной, медицинской и других областей техники. В настоящее время в устройствах СВЧ-соединители типов SMA и N составляют около 50% от всех применяемых радио-

частотных соединителей. Гарантированной предельной частотой кабельных соединителей SMA принято считать 18 ГГц в сочетании с полужёстким радиочастотным кабелем и 12,4 ГГц – гибким кабелем [1]. Основные параметры соединителей SMA приведены в таблице 1.

Соединители SMA были созданы более 60 лет назад, однако работы по их совершенствованию не прекращаются и в настоящее время. Основной целью этих работ является увеличение жёсткости конструкции соединителей для повышения надёжности контактирования вилки и розетки, а также расширение диапазона рабочих частот. Недостаточная жёсткость конструкции соединителя SMA обусловлена небольшой (менее 0,23 мм) толщиной стенки розетки в области её сочленения с вилкой. Предельную частоту соединителя SMA можно увеличить, если использо-

вать в полной мере возможности его коаксиальной линии. Действительно, теоретическая предельная частота,  $f_{\text{пред}}$  (ГГц), при которой в коаксиальной линии соединителя с внутренним диаметром наружного проводника  $D$ , диаметром центрального проводника  $d$  и диэлектрической проницаемостью изолятора  $\epsilon$  ещё не возникают нежелательные волны высшего типа, равна [1]:

$$f_{\text{пред}} \cong \frac{190,85}{\sqrt{\epsilon(D+d)}}.$$

Для соединителя SMA  $f_{\text{пред}}$  приблизительно равна 26,5 ГГц. Поэтому Southwest Microwave, Amphenol RF, Molex, Radiall и другие зарубежные компании поставили задачу максимально использовать возможности коаксиальной линии соединителя SMA и расширить его диапазон рабочих частот с 18 до 26...27 ГГц.

Созданные различными компаниями в начале 2000-х годов соединители с предельной частотой 26...27 ГГц имеют следующие названия: SMA 26,5 GHz, SMA 27 GHz, Super SMA, SMA HF Interface, EPSMA, High Performance SMA, Optimized SMA, Extended-Frequency SMA. В данной статье эти соединители названы Super SMA.

## Соединители Super SMA

Внутренняя геометрия соединителей Super SMA для обеспечения низкого коэффициента отражения оптимизирована с использованием моделирования методом конечных элементов. Работы по созданию соединителей SMA с предельной частотой до 27 ГГц проводились по двум направлениям:

1. изменение внутренней геометрии соединителя за счёт применения изолятора с меньшей, чем у фторопласта, диэлектрической проницаемостью;
2. повышение точности размеров и чистоты обработки поверхности коаксиального канала соединителя.

Например, компания Southwest Microwave в розетке Super SMA заменила фторопластовый изолятор с диэлектрической проницаемостью 2,05...2,1 материалом с диэлектрической проницаемостью 1,82 [2]. Благодаря этому

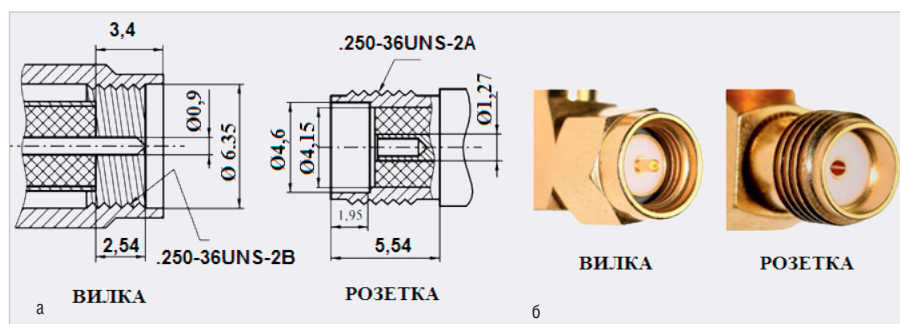


Рис. 1. Вилки и розетки соединителей SMA: а) интерфейс; б) внешний вид

Таблица 1. Основные параметры соединителей SMA и Super SMA

Параметры соединителей	SMA	Super SMA
Рабочий диапазон частот, ГГц	0–18	0...(26...27)
Максимальный КСВН прямых кабельных соединителей (в диапазоне частот, ГГц) в зависимости от типа кабеля	1,2...1,5 (0–18)	1,25 (0...26)
Максимальная величина потерь прямых соединителей, дБ (в диапазоне частот, ГГц)	0,30 (0...18)	0,30 (0...18)
Допустимая пропускаемая мощность, Вт (на частоте, ГГц)	110 (10), 70 (18)	110 (12,4...18)
Рабочее напряжение на уровне моря, В	335	335
Экранное затухание (на частотах $f$ , ГГц), дБ	-60...-(90 - $f$ )	-(100 - $f$ )
Сопротивление изоляции, МОм, не менее	5000	5000...10000
Гарантированное количество соединений и разъединений	500	500
Рабочий диапазон температур, °С	-65...+165	-55...+165

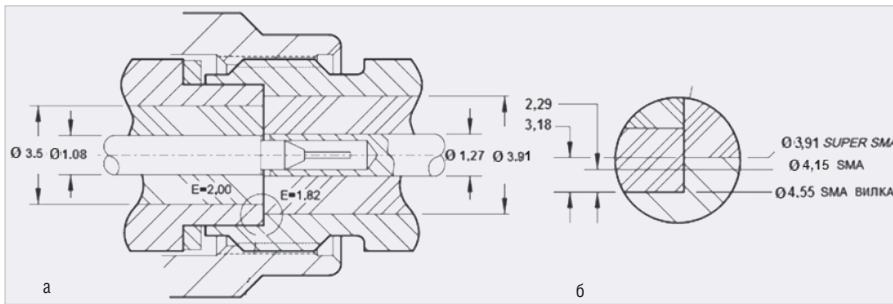


Рис. 2. Вилка и розетка соединителя: а) в сочленённом состоянии; б) размеры области контакта вилки и розетки



Рис. 3. Соединители Super SMA

внутренний диаметр наружного проводника был уменьшен с 4,1 до 3,91 мм при сохранении прежнего наружного диаметра внутреннего проводника 1,27 мм (см. рис. 2).

Внутренний диаметр внешнего проводника вилки Super SMA, заполненного фторопластом, был уменьшен с 4,1 до 3,5 мм, поэтому диаметр центрального проводника вилки для сохранения волнового сопротивления, равным 50 Ом, также был уменьшен с 1,27 до 1,08 мм. Следует отметить, что внутренний диаметр внешнего проводника в вилке соединителя выбран таким же, как в соединителе 3,5 мм с воздушной коаксиальной линией.

Наряду с расширением частотного диапазона это позволило увеличить на 38% (с 0,23 до 0,318 мм) ширину области контакта розетки и вилки и повысить жёсткость конструкции. Поэтому соединители Super SMA неслучайно называют ещё «толстостенными соединителями».

В результате перечисленных нововведений коаксиальная линия пары вилка-розетка соединителей Super SMA в сочленённом состоянии получилась ступенчатой, в отличие от «гладкой» (без ступенек) коаксиальной линии соединителей SMA. Внешний вид соединителей Super SMA вилка и розетка показан на рисунке 3.

Соединители Super SMA совместимы со всеми стандартными соединителями типов: SMA, 3,5 мм и 2,92 мм, особенно с соединителями 3,5 мм, имеющими воздушную коаксиальную линию с размерами проводников 3,5/1,52 мм [1]. Кроме того, эти соединители имеют высокий уровень экранного затухания за счёт надёжного «360-градусного» контакта вилки и розетки.

Применение соединителей SMA с предельной частотой до 27 ГГц открыло новые возможности совершенствования изделий микроэлектроники СВЧ:

	Вилка и розетка в сочленённом положении	Детализировка области контактирования	Особенности конструкции
Классическая конструкция SMA			Идеальное совпадение коаксиальных линий вилки и розетки
Конструкция Super SMA			Предельная частота расширена до 27 ГГц благодаря различию коаксиальных линий вилки и розетки
Оптимизированная конструкция Super SMA компании MegaPhase			В оптимизированном Super SMA различие коаксиальных линий вилки и розетки сведено к минимуму, благодаря этому предельная частота увеличена до 32 ГГц

Рис. 4. Сравнение конструкций соединителей SMA, Super SMA и Super SMA компании MegaPhase

расширение частотного диапазона, снижение уровня КСВН, повышение уровня экранного затухания, повышение надёжности и воспроизводимости параметров.

### Соединители с предельной частотой 32 ГГц компании MegaPhase

В работе [1] было отмечено: «Эволюция соединителей SMA продолжалась в течение более чем 50 лет. Не исключено, что в ближайшее время появятся новые разработки этих соединителей». Это предсказание сбылось в июне 2020 года с появлением сообщений о создании компанией MegaPhase (США) оптимизированного соединителя Super SMA с предельной частотой 32 ГГц [3-6]. Компания MegaPhase известна своими разработками и производством высоконадёжных коаксиальных СВЧ-кабелей и соединителей для различных радиотехнических и оптико-электронных устройств. При оптимизации соединителя Super SMA компания MegaPhase, несомненно, использовала опыт других компаний. Но если в соединителе

Super SMA коаксиальная линия вилки имела меньшие размеры, чем коаксиальная линия розетки, и общая коаксиальная линия вилки и розетки в сочленённом состоянии была ступенчатой, то в оптимизированном соединителе компании MegaPhase были максимально выровнены размеры коаксиальной линии. При этом за основу были взяты размеры коаксиальной линии вилки.

Детали конструкции разработанного соединителя компания не раскрывает, лишь приводит сравнение коаксиальных линий соединителей SMA, Super SMA и оптимизированного Super SMA (см. рис. 4) [3, 4].

Компания MegaPhase разработала соединители вилка и розетка прямыми, предназначенными для работы с кабелем серии AL141 собственного производства (см. рис. 5) [6]. Частотная зависимость КСВН кабельных соединителей компании MegaPhase приведена на рисунке 6 [3-6].

Компания MegaPhase гарантирует разработку и поставку соединителей, кабелей и кабельных сборок в течение 2...4 недель (см. рис. 7) [7].



Рис. 5. Оптимизированные соединители Super SMA вилка и розетка компании MegaPhase

### Кабельная вилка с предельной частотой 34 ГГц от компании Amphenol RF

Приблизительно в это же время компания Amphenol RF объявила о создании прямых кабельных соединителей SMA вилка № 901-10708, работающих на частотах до 34 ГГц [8, 9]. Эти соединители предназначены для паяного соединения с полужёстким кабелем RG-405 (0,085"). Соединитель № 901-10708 имеет следующие параметры:

- максимальный КСВН в диапазоне частот 0...34 ГГц –  $1,05 + 0,09f$ , где  $f$  – частота, ГГц (1,35 макс.);
- испытательное напряжение 1000 В;
- диапазон рабочих температур от – 65 до 165°C;
- допустимое количество соединений и разъединений – 500.

Внешний вид соединителя показан на рисунке 8. Корпус соединителя изготовлен из латуни и покрыт износостойким золотом, центральный проводник выполнен из бериллиевой бронзы и также покрыт износостойким золотом. Стопорное кольцо и соединительная гайка изготовлены из нержавеющей стали, а изолятор – из полимера PTFE (аналогом этого материала является отечественный фторопласт Ф4). Габаритные размеры соединителя – 13,26×8,0 мм, а ориентировочная стоимость одного соединителя \$8,28.

Благодаря лёгкой, компактной и вибростойкой конструкции и расширенному диапазону рабочих частот эти соединители найдут применение в беспроводной инфраструктуре 5G, радарных системах, системах гражданского и военного назначения.

### Заключение

Зарубежные компании постоянно совершенствуют соединители, разработанные много десятилетий тому назад. Необходимость создания новых соединителей SMA продиктована особенностями их применения. Стандартные соединители SMA, к которым так привыкли разработчики устройств микроэлектроники СВЧ, имеют гарантированный

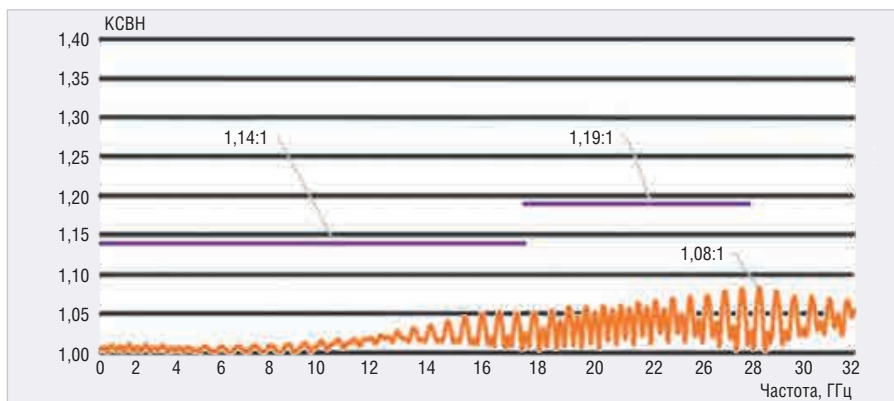


Рис. 6. Частотная зависимость КСВН кабельных соединителей компании MegaPhase. Сплошными линиями обозначены уровни КСВН стандартных соединителей Super SMA

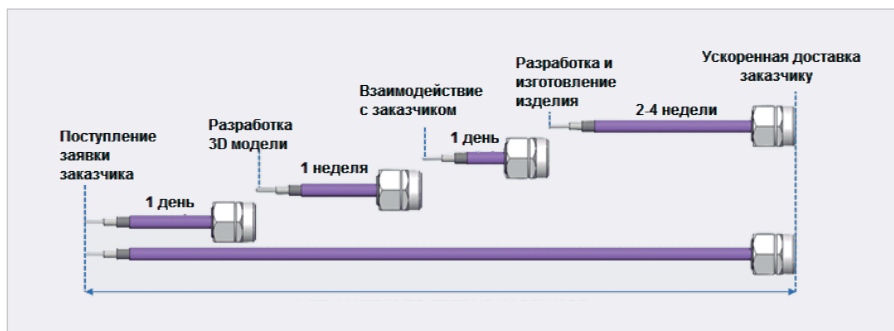


Рис. 7. Схема разработки и поставки изделий компанией MegaPhase

рабочий диапазон 0...18 ГГц. Для изделий, работающих в К-диапазоне частот (18...26 ГГц), уже необходимы соединители 3,5 мм или 2,92 мм с воздушной коаксиальной линией, в которых центральный проводник закреплён в тонкой диэлектрической опорной шайбе. Но такие соединители более повреждаемы при многократных соединениях, чем соединители SMA, заполненные фторопластом. Этим было обусловлено создание соединителей Super SMA с предельной частотой 27 ГГц и в дальнейшем – оптимизированных соединителей Super SMA с предельной частотой 32...34 ГГц компаниями MegaPhase и Amphenol RF

Но все-таки следует заметить, что эти соединители с изменённой коаксиальной линией не являются соединителями SMA, это соединители других типов. Общие с соединителями SMA, у них только резьба 0,250-36 UNS на корпусе и присоединительные размеры, что делает их механически совместимыми между собой. Но зарубежные компании любят вставлять слово SMA в название соединителей даже других типов: SMA 3,5 мм, SMA 2,9 мм.

### Литература

1. К.Б. Джуринский. Современные радиочастотные соединители и помехоподавля-

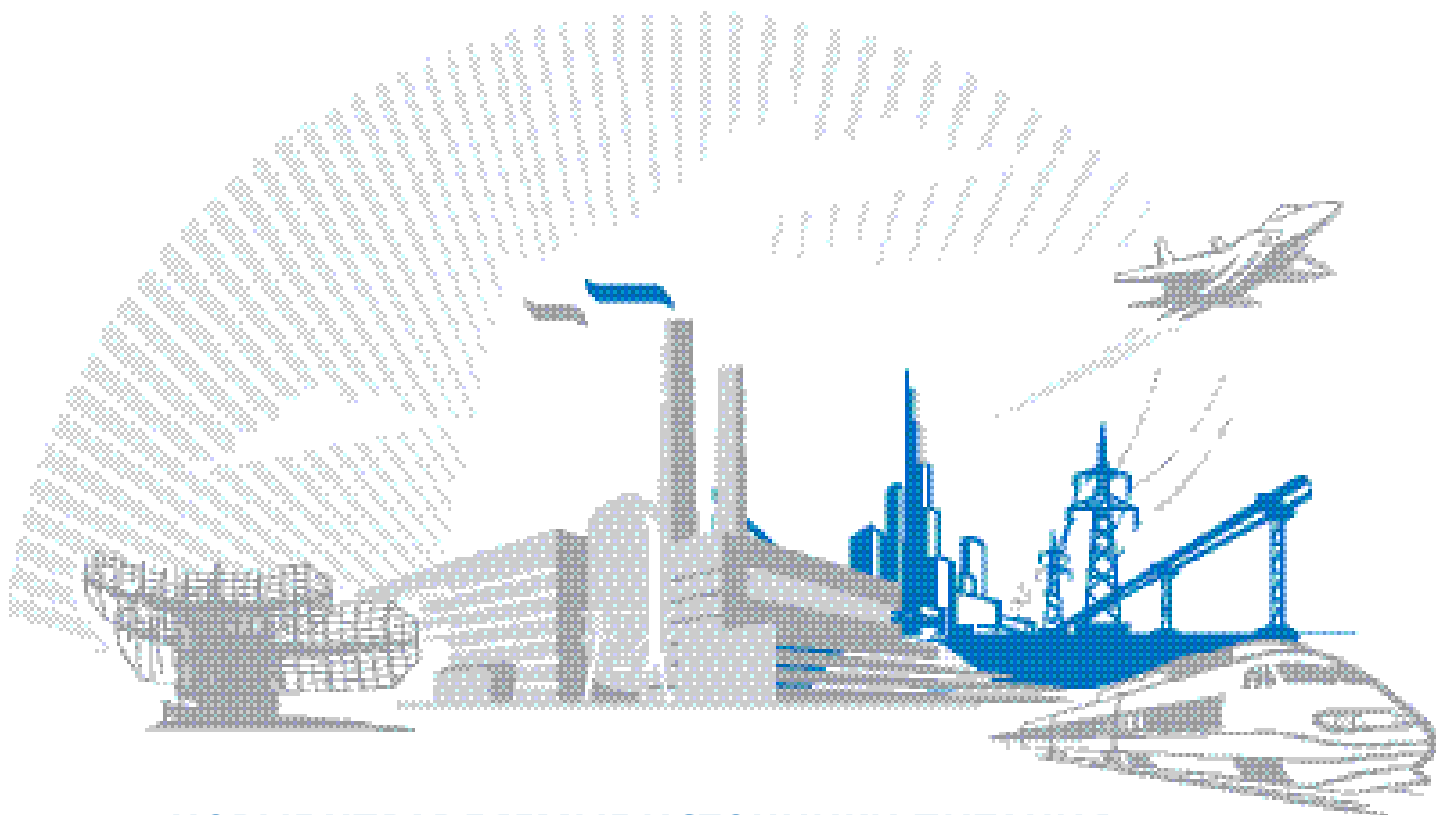


Рис. 8. Кабельная вилка № 901-10708 с предельной частотой 34 ГГц компании Amphenol RF

2. Super SMA Series DC to 27.0 GHz Southwest Microwave, Inc., www.southwestmicrowave.com.
3. Mega Phase Launches a 32 GHz Optimized Super SMA Connector, July 15, 2020. www.megaphase.com
4. Mega Phase Launches a 32 GHz Optimized Super SMA Connector. Microwave Journal, July 21, 2020.
5. Optimized Super SMA Connectors/Excellent performance through 32 GHz. www.megaphase.com.
6. Super SMA Connector – Mega Phase | RF Connector, www.everythingrf.com
7. Connectors Overview – Mega Phase, www.megaphase.com.
8. Frequency Cable Mount Connectors supporting up to 34 GHz. Electronics Media, July 8, 2020.
9. High-frequency SMA connectors reduce frequency range limitations, www.connectortips.com.







## НОВЫЕ УПРАВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### Серия GXE



- Входное напряжение 85–265 В AC или 120–370 В DC
- Выходная мощность 600 Вт
- Выходные напряжения 24 или 48 В DC
- КПД до 95%
- Высота 1U
- Запуск при  $-40^{\circ}\text{C}$
- Гарантия 7 лет

- Конвективное охлаждение
- Режим стабилизации напряжения или стабилизация тока
- Аналоговый порт: сигналы on/off, DC-OK, AC-Fail, Power-Fail, 0–100% выходной ток, 20–120% выходное напряжение
- Цифровой порт (Modbus RTU, на RS-485): установки выходных параметров + регулировка фронта нарастания, настройки защит. Считывание температуры, времени наработки прибора
- Варианты исполнения: в кожухе или без, с конформным покрытием платы или без

